

Vergleich zwischen der numerischen und experimentellen Modalanalyse einer Stahlplatte

Backhaus, S.-G.; Söver, A.

Während der Detaillierung eines Prüfstandes zur experimentellen Ermittlung des Körperschallübertragungsverhaltens von Wälz- und Gleitlagern wurden wesentliche, im Schalleitungspfad des Prüfstandes liegende, Bauteile auf ihre dynamischen Eigenschaften untersucht. Hierbei kamen sowohl experimentelle als auch numerische Methoden zum Einsatz.

During detailing of a test bed for the experimental determination of the impact sound characteristic of ball and friction bearings, different components were tested according to their dynamical behavior whereas are experimental and numerical methods were used.

1 Einleitung

Im Rahmen eines Forschungsprojekts der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA), gefördert von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V.

(AiF) wurde am Institut für Maschinenwesen ein Prüfstand zur messtechnischen Ermittlung der Körperschallübertragungseigenschaften von Wälz- und Gleitlagern entwickelt und gebaut /7/. Um die dynamischen Eigenschaften des Prüfstandes (**Bild 1**) abschätzen zu können, wurden wesentliche, an der Körperschalleitung beteiligte, Elemente wie die Lagerplatte, die einen Ausschnitt aus dem Gehäuse beispielsweise eine Getriebes darstellt, untersucht. Dazu wurden bereits während der Konstruktion der Platte numerische Rechnungen mit Hilfe der Finite Elemente Methode (FEM) auf Basis der bestehenden grafischen 3D-Modelle durchgeführt, deren Ergebnisse nach der Fertigstellung des Bauteils anhand einer experimentellen Modalanalyse überprüft wurden.

1.1 Modalanalyse

Die Modalanalyse ist ein Verfahren zur Beschreibung der natürlichen dynamischen Eigenschaften (Eigenfrequenzen, Dämpfungen und Schwingungs-Eigenformen) einer Struktur /2/, /3/. Zur Ermittlung dieser Parameter können sowohl rechnerische als auch experimentelle Methoden eingesetzt werden. Bei beiden Verfahren wird die reale Struktur auf ein idealisiertes lineares mathematisches Modell zurückgeführt /1/, /8/.

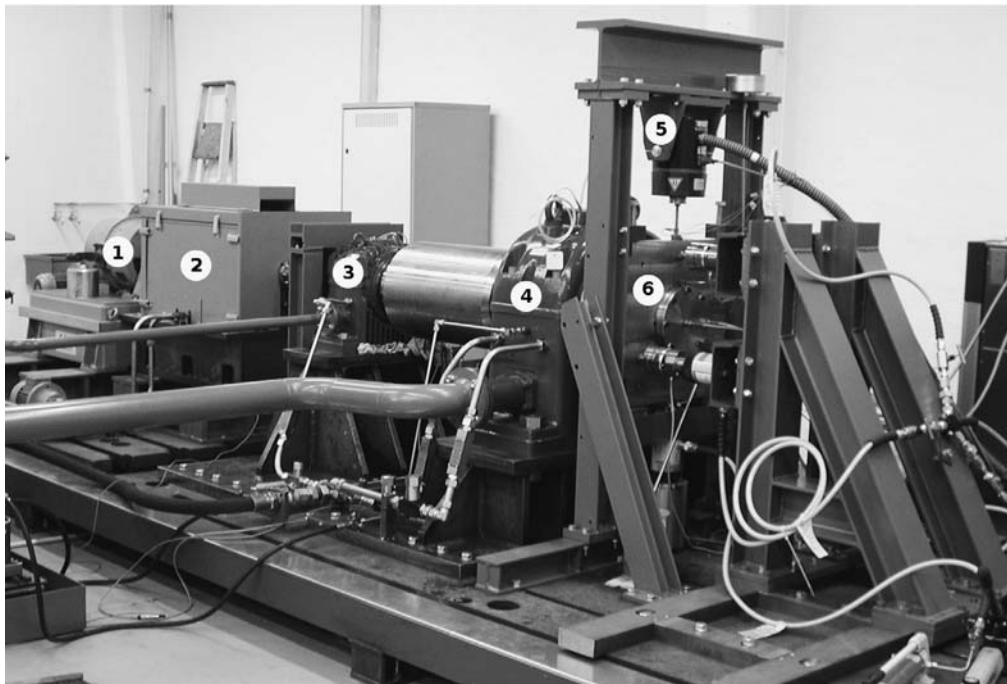


Bild 1: Prüfstand zur messtechnischen Ermittlung der Körperschallübertragungsfunktionen von Wälz- und Gleitlagern. 1 Hauptantrieb, 2 Untersetzungsgetriebe, 3 und 4 Prüfstandshauptlagerung (3 Radialgleitlager, 4 Radial-Axial-Gleitlager), 5 elektrodynamischer Schwingerreger, 6 Lagerplatte

1.2 Numerische Modalanalyse der Stahlplatte

Soll eine numerische Modalanalyse mit Hilfe der Finite Elemente Methode durchgeführt werden, sind drei Schritte notwendig. Zunächst muss das Modell erstellt werden, das so genannte Preprocessing. Danach folgt die Lösung des Problems (Solving) mit anschließender Darstellung der Ergebnisse (Postprocessing) /9/.

Das Preprocessing beginnt in dem hier dargestellten Fall mit der CAD-Zeichnung der zu berechnenden Struktur. Je nach Komplexität des Systems und den Anforderungen an das Ergebnis wird dieses Modell mit Finiten Elementen vernetzt. Diesen Finiten Elementen werden anschließend verschiedene Eigenschaften wie beispielsweise Werkstoffparameter zugewiesen.

In dem hier betrachteten Fall lag eine 3D-Zeichnung in Pro/ENGINEER der Stahlplatte vor, die ohne weitere zusätzliche Schritte (Export, Import) in das zur Pro/ENGINEER®-Familie gehörenden FEM-Modul Pro/MECHANICA® (ProM) eingeladen werden konnte. In ProM wurden der Struktur anschließend die Werkstoffeigenschaften zugewiesen und die Vernetzung (Meshing) vorgenommen. Das Meshing ist dabei von den Gegebenheiten der Struktur und den Anforderungen an das Simulationsergebnis abhängig. Die Ergebnisse der Berechnung sind in **Bild 5** und **Bild 8** dargestellt.

Zusätzlich zu den oben genannten Berechnungen wurden die gleichen Analysen mit LMS Virtual.Lab (LMS-VL) durchgeführt. Für die Simulation des dynamischen Verhaltens von mechanischen Strukturen bietet LMS-VL eine vollständige und integrierte Lösung /10/. Dazu muss das 3D Model aus Pro/ENGINEER® in ein STEP-File gewandelt werden, um es in LMS-VL importieren zu können. Nach der Definition der Werkstoffeigenschaften wurde die Struktur der Stahlplatte mit ähnlich vielen Finiten Elementen vernetzt, um eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Finite Element Rechnungen zu bekommen. Die Ergebnisse sind in **Bild 4** und **Bild 7** zu sehen.

1.3 Experimentelle Modalanalyse der Stahlplatte

Um eine experimentelle Modalanalyse an der Stahlplatte durchführen zu können ist weit umfangreicheres Equipment als bei der numerischen Modalanalyse erforderlich. Neben der Stahlplatte, die zumindest im Prototypenstadium vorliegen muss, wird eine messtechnische Ausrüstung bestehend

aus einem Modalhammer (in der passenden Gewichtsklasse) ein Beschleunigungs- oder Wegaufnehmer sowie ein zweikanaliges Aufzeichnungsgerät für die Signale und ein PC mit entsprechender Auswertungssoftware benötigt.

Zur Durchführung der experimentellen Modalanalyse wird der Beschleunigungsaufnehmer an einem Punkt der Platte fixiert um diese anschließend Punkt für Punkt, vergleiche **Bild 2**, anzuregen. Dies dient dazu jede Anregung und Antwort als Einzelmessung zu speichern.



Bild 2: Markierungen definierter Messpunkte auf der Stahlplatte zur Vorbereitung der experimentellen Modalanalyse

Nach erfolgreicher Aufzeichnung aller Messungen werden diese in die verwendete Modalanalysesoftware, hier Vibrant MeScope /4/ eingeladen.

Bevor jedoch die modalen Parameter der Platte ermittelt werden können, muss mit Hilfe eines Preprocessors ein Gitter-Modell der Platte erstellt werden, um dessen Knotenpunkten die jeweils zugehörigen Einzelmessungen zuweisen zu können. Anschließend erfolgt analog zur numerischen Berechnung das Solving mit anschließender Darstellung der Ergebnisse, vergleiche **Bild 3** und **Bild 6**.

1.4 Vergleich der numerischen mit der experimentellen Modalanalyse

1.4.1 Vergleich der Ergebnisse

Auf den ersten Blick ist zu erkennen, dass sowohl die numerischen Berechnungen mit ProM als auch die mit LMS-VL ähnliche Ergebnisse für die Eigenschwingungen der Platte liefern. Die erste Eigenfrequenz der Stahlplatte liegt demnach bei ca. 500 Hz (vergleiche **Bild 4** und **Bild 5**), die zweite bei ca. 890 Hz (vergleiche **Bild 7** und **Bild 8**). Die Ergebnisse der Auswertung der experimentellen Modalanalyse mit MeScope zeigen die gleichen Schwin-

gungsformen wie die Ergebnisse der numerischen Modalanalyse, jedoch unterscheiden sich die ermittelten Eigenfrequenzen. Sie liegen bei der experimentellen Modalanalyse bei 510 Hz und 920 Hz, vergleiche **Bild 3** und **Bild 6**.

Die Abweichung der Ergebnisse der experimentellen und der numerischen Modalanalyse liegen somit zwischen 2% und 3,4%. In Anbetracht der Tatsache, dass es sich bei der experimentell untersuchten Platte um einen ersten, nicht vollständig bearbeiteten, Prototypen handelt und die Einspannbedingungen während des Versuchs an der Platte bei der numerischen Modalanalyse nicht berücksichtigt wurden, ist das Ergebnis als gut zu bezeichnen.

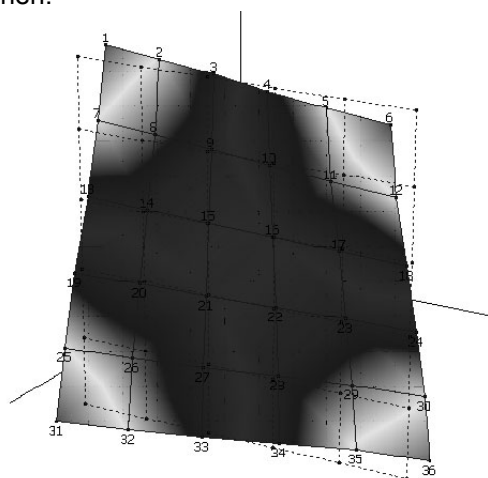


Bild 3: Schwingungsmode der Platte bei der ersten Eigenfrequenz von 510 Hz, Ergebnis der Auswertung der experimentellen Modalanalyse mit MeScope /4/

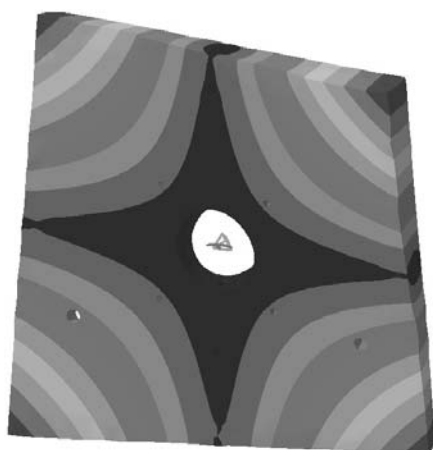


Bild 4: Schwingungsmode der Platte bei der ersten Eigenfrequenz von 500 Hz, Ergebnis der Auswertung der numerischen Modalanalyse mit LMS-VL /6/

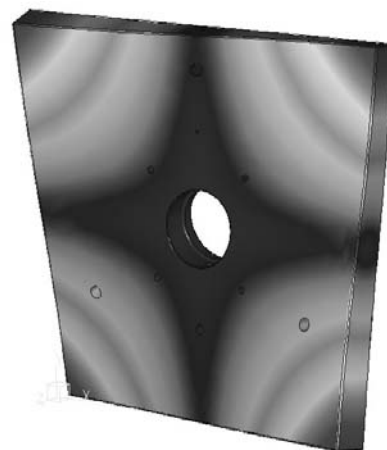


Bild 5: Schwingungsmode der Platte bei der ersten Eigenfrequenz von 499 Hz, Ergebnis der Auswertung der numerischen Modalanalyse mit ProM /5/

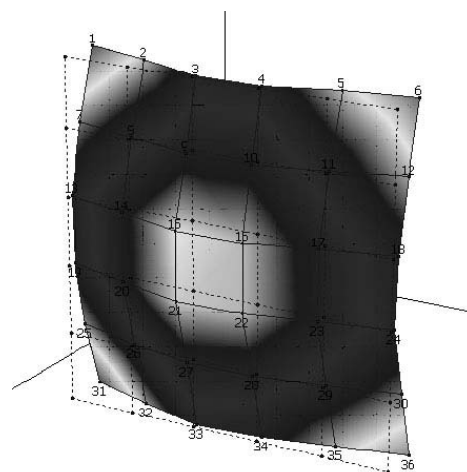


Bild 6: Schwingungsmode der Platte bei der zweiten Eigenfrequenz von 920 Hz, Ergebnis der Auswertung der experimentellen Modalanalyse mit MeScope /4/

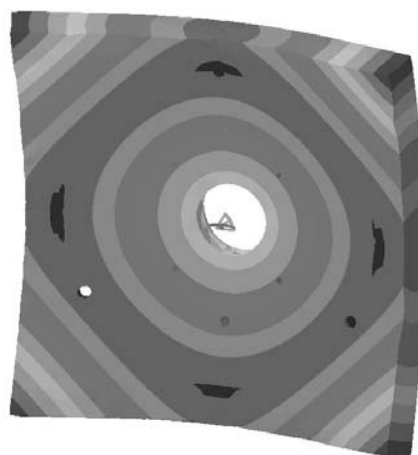


Bild 7: Schwingungsmode der Platte bei der zweiten Eigenfrequenz von 887 Hz, Ergebnis der Auswertung der numerischen Modalanalyse mit LMS-VL /6/

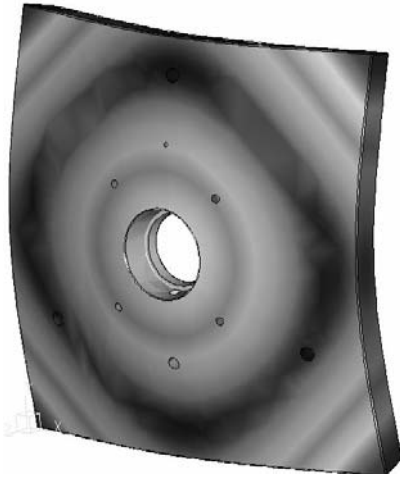


Bild 8: Schwingungsmoden der Platte bei der zweiten Eigenfrequenz von 889 Hz, Ergebnis der Auswertung der numerischen Modalanalyse mit ProM /5/

1.4.2 Vergleich des Aufwandes

Ausgehend von der Annahme, dass ein 3D-Modell des zu untersuchenden Objekts besteht, ergeben sich wesentliche Unterschiede beim Durchführungsaufwand zwischen der experimentellen und der numerischen Analyse Modalanalyse. Zur Durchführung der numerischen Modalanalyse ist lediglich ein geeignetes Finite Elemente Programm wie ProM oder LMS-VL notwendig. Sollen jedoch zusammenhängende Strukturen untersucht werden, wird die Ermittlung der Kontaktparameter zwischen den einzelnen Teilen der Struktur notwendig. Für eine experimentelle Modalanalyse wird das reale Objekt, die Messtechnik zur Aufnahme der modalen Parameter sowie ein Programm zur Analyse der Messwerte benötigt.

2 Zusammenfassung

Sollen modale Parameter eines Objekts oder gar einer Struktur mit hoher Genauigkeit ermittelt werden, ist die experimentelle Modalanalyse vorzuziehen. Müssen jedoch die modalen Parameter eines Objekts oder einer Struktur ermittelt werden, um deren Einflüsse auf andere Objekte oder Strukturen abschätzen zu können, lassen sich diese mit numerischen Methoden einfach ermitteln, vor allem jedoch lassen sich Änderungen kostengünstig vornehmen, was an realen Objekten wie Prototypen oder gar Vorserien- oder Serienmodellen nur mit vergleichsweise hohen Kosten realisierbar ist. Immer leistungsfähigere Rechner ermöglichen zudem die Erfassung und Lösung immer komplexerer Probleme in kürzerer Zeit.

3 Literatur

- /1/ Kollmann, F. G.: Maschinenakustik - Grundlagen, Messtechnik, Berechnung, Beeinflussung; 2. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York; Springer; 2000
- /2/ Avitabile, P.: Experimental Modal Analysis; Modal Analysis and Controls Laboratory, Mechanical Engineering Department, University of Massachusetts Lowell; Lowell; Massachusetts; USA
- /3/ The Modal Handbook; A Multimedia Computer Based Training and Reference Guide, Dynamic Decisions, Merrimack, NH
- /4/ Vibrant Technology, Inc.: ME'scope VES, <http://www.vibtech.com>
- /5/ The Product Development Company: Pro/MECHANICA[®], <http://www.ptc.com/>
- /6/ LMS[®] Engineering Innovation: LMS Virtual.Lab Rev 4B, <http://www.lmsintl.com/>
- /7/ Backhaus, S.-G.: Konzeption und Bau eines Prüfstandes zur Ermittlung des Körperschallübertragungsverhaltens von Wälz- und Gleitlagern, Mitteilungen des Instituts für Maschinenwesen, Institut für Maschinenwesen der Technische Universität Clausthal, Clausthal-Zellerfeld, 2004
- /8/ Kim, H. J.; Cho, Y. M.; Chou, Rudy: Noise source identification in a rotary compressor: a multidisciplinary synergetic approach. ICECP 2000: 15th International Compressor Engineering Conference at Purdue, Proceedings, Band 2 (2000), Seite 579-586.
- /9/ Fröhlich, P.: FEM-Leitfaden: Einführung und praktischer Einsatz von Finite Elemente Programmen, Springer-Verlag, Berlin, 1995
- /10/ http://www.digital-engineering-magazin.de/index.php3?page=news-show_neu.php3&naechster=8545